干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.05.22

西北地区居民生活碳排放现状分析及预测①

徐 丽[1]， 曲建升[1,2]， 李恒吉[1,2]， 吴金甲[1]， 张洪芬[1]
（1 兰州大学资源环境学院，甘肃 兰州 730000；
2 兰州文献情报中心/全球变化研究信息中心，甘肃 兰州 730000）

摘 要：我国西北地区经济发展、居民生活水平和碳排放均低于全国平均水平，随着国家政策倾斜，居民生活条件逐步改善，居民生活碳排放量提升空间较大，排放格局将受影响，这对西北地区本就脆弱的生态环境更加不利。目前有关居民碳排放的研究多集中在人类活动频繁、碳排放量大的我国东、南部地区，较少关注西北地区，但碳排放增加、环境成本加重对于欠发达地区的影响更加深远。其次，研究者关注居民碳排放预测时，通常着眼于数量预测，忽视了空间格局预测，不利于区域间协同发展。基于1997—2016年西北五省居民能源消耗和消费支出数据，首先利用直接系数法和投入产出法测算了1997—2016年西北地区居民生活碳排放，对其现状进行分析；第二，基于标准差椭圆和ARIMA模型从数量和空间格局上对2017—2021年西北居民生活碳排放进行预测。结果表明：1997—2016年，西北居民生活碳排放呈先缓慢后快速的上升趋势。直接碳排放稳定在$0.3\sim0.4\times10^{8}$ t；间接碳排放达到2.38×10^{8} t；空间分布总体稳定，呈西北—东南分布，移动趋势为西北—东南—西北，标准差椭圆中心在（99.07°E，38.19°N）附近移动。2017—2021年，直接碳排放达到0.543×10^{8} t；间接碳排放为3.631×10^{8} t；主体区域沿X轴发散，Y轴收敛，旋转轴变化小，随着西部大开发和脱贫的推进，新疆排放量次于陕西，增速较快，推动碳排放主体区域向西北移动。旨在为实现西北地区人口、消费、环境协调发展、引导居民树立低碳消费的价值理念建言献策。

关 键 词： 西北地区； 居民生活碳排放； 空间格局； 标准差椭圆； ARIMA模型

气候变化导致了全球变暖、海平面上升等一系列灾害事件，在增加生态系统脆弱性的同时，也为人类社会带来了负面影响。对气候变化驱动作用最直接的因子为温室气体排放，尤其是化石能源使用引起的CO_2排放。我国正处于工业化和城镇化快速发展的阶段，各行业部门的CO_2排放呈现快速增长趋势，其中，居民生活能源消费已成为仅次于工业的第二大能源消费部门，居民生活碳排放已经成为碳排放新的增长点之一[1]。

居民生活碳排放研究开始于20世纪70、80年代，从YOICHIA Kaya提出Kaya公式定量化研究碳排放开始，国内外学者就不同角度对居民生活碳排放进行研究。BIN、曾静静、刘晶茹等大量学者通过对中、美居民生活碳排放研究，提出了不同测算方法，直接碳排放多使用排放系数法，间接碳排放多集中于CLA、投入产出法以及生命周期评价法[2-4]。LIU和王东等对不同尺度居民生活碳排放影响因素进行分析，得出居民收入、碳排放强度、消费结构、城乡结构等因素对居民生活碳排放起较大影响[5-6]。张馨、张艳平等运用STIRPAT、面板数据和空间自相关分析了我国能源和城乡居民的碳排放空间格局演变及原因，基本揭示了居民碳排放区域差异的原因及因素[7-8]。经过数10 a研究，居民生活碳排放在测算、影响因素、时空特征等方面的研究已经成熟，一些学者开始对居民生活碳排放预测进行研究。居民生活碳排放预测方式主要分为两种：一种是情景分析法，通过预测经济增长、政策执行、技术升级等参数变化导致的未来不同情景，提供了多种可能的

① **收稿日期：**2019-04-09； **修订日期：**2019-07-17
基金项目：国家重点研发计划（2016YFA0602803）
作者简介：徐丽（1993-），女，硕士研究生，主要从事居民碳排放预测研究. E-mail：lxu16@lzu.edu.cn
通讯作者：曲建升（1973-），男，研究员，博导，主要研究方向为气候政策分析与温室气体排放评估. E-mail：jsqu@lzb.ac.cn

发展预测结果[9]。另一种是基于数学统计或计量经济对碳排放进行模型预测。情景分析法依赖设定者对影响因素未来发展的把控,但我国目前的碳排放政策和碳强度目标集中在工业、交通领域,生活部门缺少政策约束并在2030年前难以达到峰值,基于以上两点原因,本文选取数学模型对碳排放进行预测。ARIMA模型具有结构简单、预测精度高等优点,适合现实生活中各类随机性强的时间序列分析和预测[10]。PRANANDA等[11]利用ARIMA模型对泗水CO_2增长进行预测,结果与泗水排放趋势相符。李建豹等[12]系统梳理了ARIMA模型,分别对中国省域碳排放量和空间格局进行预测,得到良好的预测结果,误差极小,因此,本文选用ARIMA模型预测居民生活碳排放量和空间分布。

我国西北地区包括陕西省、甘肃省、宁夏回族自治区、青海省和新疆维吾尔自治区,属于经济欠发达地区,同时这一地区居民生活水平较低,家庭生活碳排放低于全国平均水平,居民生活条件改善的需求迫切,未来家庭生活碳排放增长空间较大[13]。随着新丝绸之路经济带建设的推进、2020年全面小康任务完成,政策、资金、人才等都会带动西北地区社会经济的发展,居民生活水平的随之提高也将带动生活碳排放的上升,但是,各省份之间在经济发展、能源和生活消费方面的差异会影响西北居民生活碳排放量和空间排放格局。现有研究较少关注居民生活碳排放未来空间格局变化,尤其是局部空间格局,因此,本文对西北地区居民生活碳排放量和空间格局进行预测,有助于西北省份把握未来居民生活碳排放发展趋势和空间变化,为西北五省探寻居民生活水平提高与生活碳排放减排寻找最佳结合点,确定“十四五”减排目标提供相应参考。

1　数据来源及研究方法

1.1　数据来源

随着国家1997年省级建制完善确定,本文选取1997—2016年为研究的时间范围。1997—2016年西北地区居民能源消费量来源于《能源统计年鉴》,各行业部门能源消耗从《能源统计年鉴》中整理得到。1997、2002、2007和2012年全国投入产出表和居民人均各项消费支出(换算为1997年不变价)来源于《中国统计年鉴》。地图来源于中国科学院资源环境科学数据中心。

1.2　研究方法

1.2.1　直接碳排放　居民直接碳排放包括居民生活直接消耗能源和私人交通消耗油品产生的碳排放。

$$E_{CO_2} = A_i \times e_i \times c_i \times o_i \times \frac{44}{12} \tag{1}$$

式中:E_{CO_2}表示居民能源消费碳排放;A_i表示化石燃料的表观消费量;e_i表示化石燃料的低位发热量;c_i表示燃料的单位热值含碳量;o_i表示燃料的碳氧化系数;i表示能源类型。

1.2.2　间接碳排放　居民间接碳排放指居民各项消费支出所产生的碳排放,包括食品、衣着、居住、家庭设备、医疗保健、交通通讯、文教娱乐和其他商品及服务消费产生的碳排放。此外,电力和热力在能源转换时已经完成碳排放,所以将电力和热力划归间接排放。并将“居住”项中“热电”一项去除,避免重复计算[14]。

$$C_{ind} = F(I-A)^{-1}Y_j \tag{2}$$

$$A = (a_{ij})_{n\times n};\ a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}, (i,j=1,\cdots,n) \tag{3}$$

其中:C_{ind}为间接碳排放(除电热外);F为1×8的行向量,表示8项消费对应的合并后的8个行业;$(I-A)$为莱昂纳夫矩阵,A为直接消耗系数矩阵,I为单位矩阵;Y_j为8×1的列向量,表示居民对应8部门的消费支出。

1.2.3　ARIMA(自回归积分滑动平均模型)　ARIMA(p,d,q)模型将预测对象随时间推移而形成的数据序列视为随机序列,用一定数学模型近似描述这个序列并预测未来。居民生活碳排放在2030年前将持续上升并难以达到峰值[15],在居民生活部门缺少政策约束的情况下,利用ARIMA模型对历史数据进行拟合并对未来进行预测,可以得到较好的结果。

$$x_t = \varphi_1 x_{t-1} + \varphi_2 x_{t-2} + \cdots + \varphi_p x_{t-p} + \varepsilon_t + \theta_1\varepsilon_{t-1} + \theta_2\varepsilon_{t-2} + \cdots + \theta_q\varepsilon_{t-q} \tag{5}$$

式中:φ为自回归系数;θ为移动平均系数;p,d,q分别为回归阶数、拆分次数、移动平均阶数。

本文以居民生活碳排放总量为例,利用Eviews 6.0软件对其进行时间序列平稳性检验及平稳化。西北地区居民生活碳排放总量随时间增长且

呈线性趋势,直观显著不平稳,进一步对其进行 ADF 检验,检验结果见表 1,原序列是非平稳序列,二阶差分序列后平稳,因此,文中其他时间序列均进行平稳性检验,确定 d 值后再确定其他参数。

表 1 居民生活碳排放量 ADF 检验结果

Tab. 1 Results of ADF-t test on the residents carbon emission

变量		原序列	二阶差分
ADF-t 检验		4.261 1	-5.765 6
临界值	1%	-3.831 5	-3.959 1
	5%	-3.029 9	-3.081
	10%	-2.655 2	-2.681 3
P 值		0.999	0.000 4
检验结果		不平稳	平稳

1.2.4 标准差椭圆 标准差椭圆是定量描述研究对象空间分布整体特征及时空演变的空间统计方法。刘晓婷[15]通过标准差椭圆分析了新疆能源碳排放空间差异的动态演化。贺三维等[16]利用标准差椭圆对中国经济发展空间格局进行描述,并通过灰色模型预测了未来经济格局的发展方向。标准差椭圆已经成为分析地理事物空间分布变化的主要方法之一,并且一些学者开始利用其研究未来地理事物空间分布的发展趋势。

2 西北居民碳排放现状及预测分析

2.1 西北居民碳排放现状

图 1 显示,1997—2016 年西北居民生活碳排放总量呈现先缓慢后快速的上升趋势,西北居民生活碳排放从 1997 年的 0.7×10^8 t 增长到 2003 年的 0.83×10^8 t,年平均增速 2.56%,增速趋势较缓。2004 年后,居民生活碳排放增速加快,从 0.87×10^8 t 增加到 2016 年的 2.82×10^8 t,年均增速 17.13%。

从直接碳排放和间接碳排放来看,2000 年前,直接和间接碳排放相差不大,均在 0.5×10^8 t 左右;2000 年后,直接碳排放波动增长但增速缓慢,间接碳排放增速加快,年均增速 10.59%,西北地区居民碳排放转向以间接碳排放为主。居民直接碳排放从 1997 年的 0.32×10^8 t 增加到 2016 年的 0.44×10^8 t,这主要是由于居民生活用能结构优化、人口缓慢增加等原因所致(图 2),用能结构优化,煤品使用量有所下降,油气用量缓慢增加,占比提高,这都维持了直接碳排放的基本稳定,加之人口缓慢增长,能源需求小幅度上升,所以 1997—2016 年居民直接碳排放在 $0.3\sim0.4\times10^8$ t 波动,增量较小。1997—2016 年,居民间接碳排放从 0.38×10^8 t 增加到 2.38×10^8 t,增加 6.26 倍,1997—2004 年年均增速 4.64%,2005—2016 年年均增速 23.18%,增长趋势与总量趋势相似,是推动碳排放总量增长的主要原因:(1) 居民生活水平提高,可支配收入和消费水平呈快速上升趋势。西北地区居民人均年消费从 1997 年的 2 217 元增加到 2016 年的 10 625 元,除其他商品及服务的碳排放有所下降外,居民在食品、衣着、科教文卫等 7 项上的支出增加,导致了间接碳排放的快速增长。(2) 电力和热力已经成为了居民生活中必不可少的二次能源。人均家用电器数量、种类增加;电力代替煤品成为大部分居民的炊事能源(图 2)。(3) 西北地区人口增长也是推动间接碳排放增加的原因之一。2016 年西北五省人口较 1997 年增加了 1.282×10^7 人,人口和人均消费提升推动了间接碳排放增加。

从各省份来看,西北碳排放总体格局未发生较大改变,1997—2016 年,陕西省居民生活碳排放均最高,到 2016 年达到 1.12×10^8 t。其次是新疆和甘

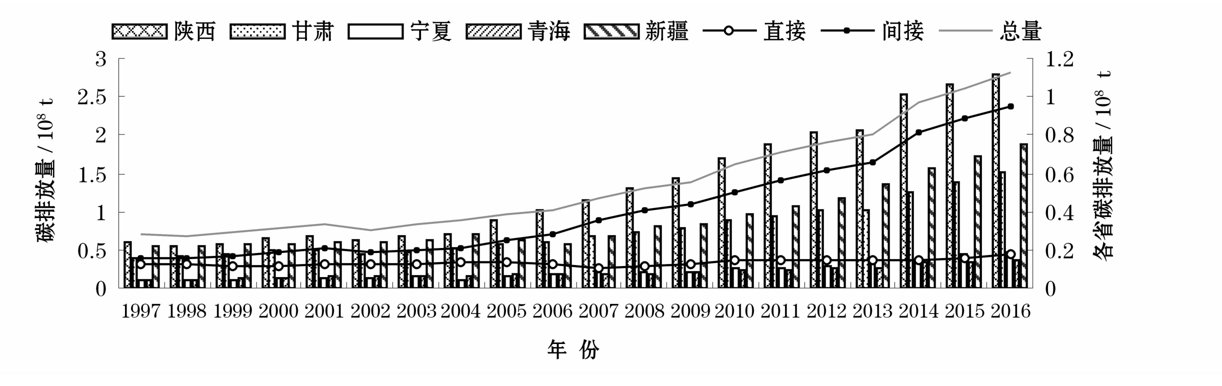


图 1 1997—2016 年西北地区居民生活碳排放现状

Fig. 1 Present situation of household carbon emissions in Northwest China from 1997 to 2016

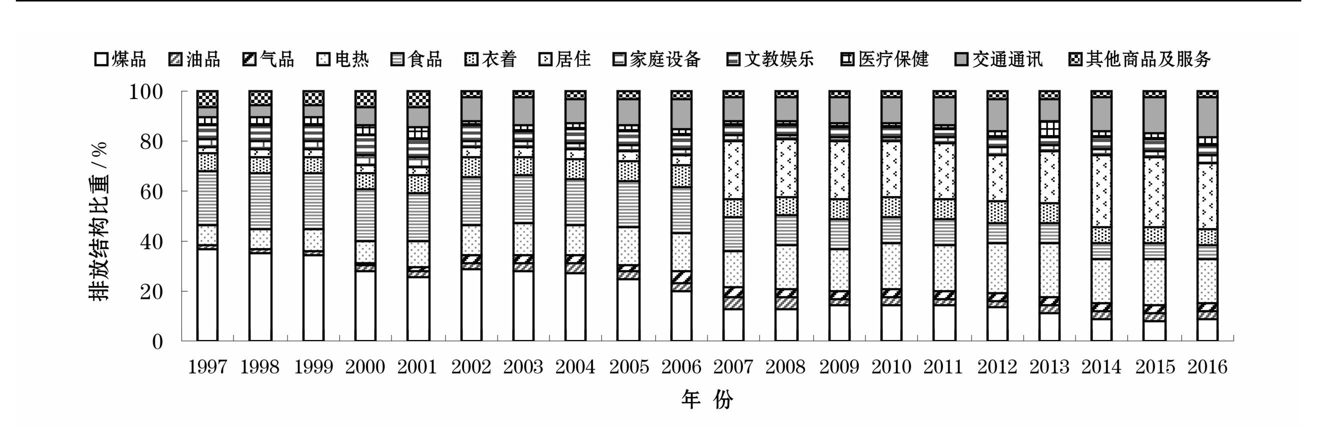


图 2　1997—2016 年西北居民生活碳排放结构占比

Fig. 2　Proportion of household carbon emissions in Northwest China from 1997 to 2016

肃省,分别为 0.75×10^8 t 和 0.61×10^8 t。青海居民碳排放最小,仅为 0.15×10^8 t。1997—2004,各省份碳排放增速均较慢,2005 年之后,各省居民生活碳排放进入了快速增加的阶段,2005—2016 年,陕西省和新疆的年平均增速均在 15.5% 以上,青海增速最慢,年均增速 9.35%。陕西省在西北五省中人口最多,年人均消费增速低于甘肃、宁夏;新疆的年人均消费基数较大,1997 年人均消费达到 5 282 元,虽增速最低,但排放量保持较高;青海省人口约陕西省的 1/6,约宁夏的 87%,但人均住房建筑面积、私家车保有量均低于宁夏。

2.2　西北居民生活碳排放预测及分析

为探究未来西北地区居民碳排放演化趋势,本文运用 ARIMA 模型,对西北各省居民生活碳排放总量、直接、间接碳排放进行拟合和预测。ARIMA (p,d,q) 中参数 p、d、q 是依据平稳性检验中差分次数、自相关和偏自相关系数的截尾性确定的,基于 AIC、SC 准则和 R^2 选择最优模型,参数结果见表 2,预测结果见图 3。

表 2　ARIMA 模型参数设置

Tab. 2　Parameter selection of ARIIMA model

	参数	R^2	AIC	SC	DW
总量	(1.2.1)	0.991	-2.377	-2.228	1.765
直接碳排放	(1.1.2)	0.828	-4.840	-4.642	1.649
间接碳排放	(1.1.1)	0.988	-2.205	-2.056	-2.180
陕西	(2.1.2)	0.994	-4.103	-3.856	2.257
甘肃	(1.1.1)	0.995	-6.222	-6.073	1.952
宁夏	(3.1.1)	0.990	-7.491	-7.246	2.420
青海	(1.1.1)	0.977	-7.675	-7.526	1.739
新疆	(1.2.3)	0.996	-5.700	-5.452	2.430

预测结果显示(图 3),西北地区居民生活碳排放总量在 2017—2021 年呈上升趋势。到 2021 年,西北居民生活碳排放总量达到 4.1×10^8 t,比 2016 年增长 1.257×10^8 t。其中,直接碳排放保持稳定,增长量较小,维持了 1997—2016 年直接碳排放的趋势,到 2021 年,西北居民直接碳排放达到 0.488×10^8 t,较 2016 年增长了 0.068×10^8 t,年均增长率为

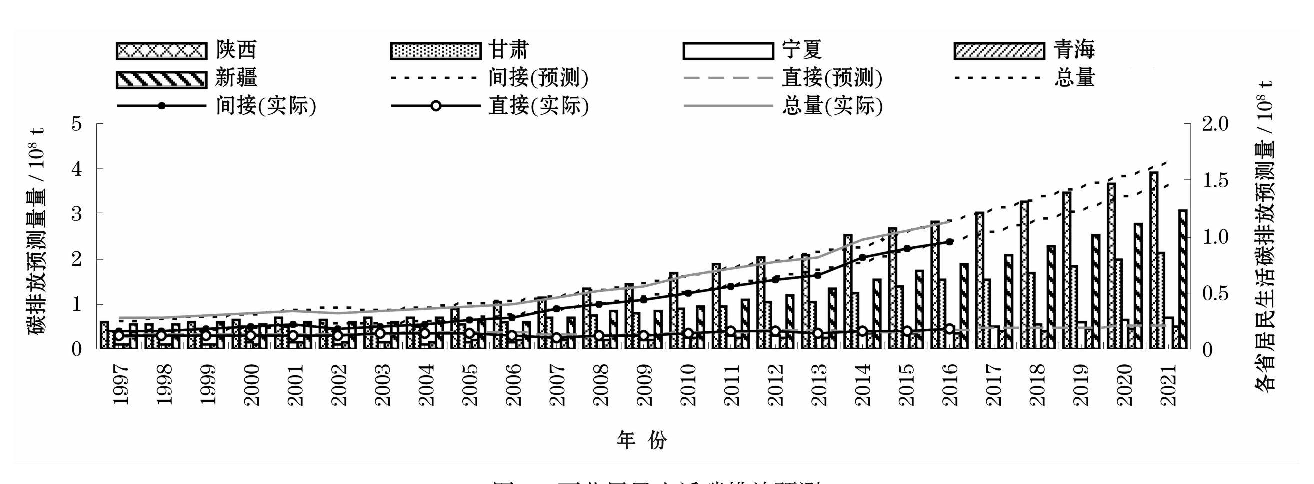


图 3　西北居民生活碳排放预测

Fig. 3　Predictions of household carbon emissions in Northwest China

3.24%。一方面是由于居民生活用能类型增加,可替代产品增多,煤品碳排放呈波动下降的趋势;随着能源基础设施不断完善,家庭汽车保有量增加,油品和天然气的使用量不断上升。另一方面,直接碳排放多年保持平稳态势,人口增速缓慢,居民日常能源需求基本满足,对于直接能源的需求趋于饱和,上升空间有限。

到2021年,间接碳排放达到 3.631×10^8 t,较2016年增长了 1.237×10^8 t,年均增长率10.34%。居民消费支出和电热使用量的大幅度增长推动了间接碳排放的上升,也是推动西北居民生活碳排放攀升的主要原因。一方面,居民对食品和衣着等基本生活品需求保持稳定,支出增加但消费中所占比重持续下降;自2007年始,平均每人年末住房建筑面积和居住支出大幅增加,居民每百户年末主要耐用消费品拥有量提升,居住、家庭设备以及交通碳排放在未来会有较大增加,推动间接碳排放的提升;另一方面,电力已经成为炊事、家庭耗电设备的主要能源支持,电力在居民能源消耗中的占比将有所提升并带来更多的碳排放。

从省份来看,陕西省居民生活碳排放最高,到2021年达到 1.557×10^8 t,较2016年,增长了 0.877×10^8 t,年均增长率为7.81%。在当前人口发展状态下,以生存型消费为主的低层级消费在我国仍将会持续一段时间,但随着人口结构、素质、城镇化水平的提升,消费结构将会不断优化、升级。陕西省作为西北地区人口大省,人口基数大和不断升高的人均生活碳排放推动居民生活碳排放的增长,且陕西省城市化率较高,2016达到55.34%,到2021年,陕西省城镇居民消费可能已经转向享受型消费,碳排放趋向稳定,增长速度逐渐减慢。新疆居民生活碳排放处于第二位,到2021年,新疆居民生活碳排放达到 1.22×10^8 t,较2016年增长 0.46×10^8 t,年增长率为12.37%,增长率高于陕西省。这可能是由于居民消费结构处于初级阶段,1997—2016年,新疆居民直接碳排放占居民总碳排放的比重由50.22%下降到19.92%,仅低于青海,表明一次能源在居民生活中仍占一定比重,居民消费以生存型消费资料为主;随着居民消费结构优化,居民消费将从生存型逐渐转向发展型或享受型,将会推动新疆居民生活碳排放快速发展。

3 西北居民碳排放空间格局及预测

3.1 西北居民碳排放空间格局现状分析

为探究未来西北地区居民碳排放空间格局演化趋势,本研究运用标准差椭圆对西北地区居民碳排放空间格局进行分析,并选取一级标准差椭圆覆盖范围内移动路径发生转折,移动距离较大的年份进行展示(图4)。

1997—2016年,西北地区居民生活碳排放呈现西北—东南分布,标准差椭圆内的区域是西北居民生活碳排放的主体区域,主要包括新疆东南少部分地区,青海北部,甘肃大部分地区,宁夏自治区的南部以及陕西省中部地区。同时也是西北地区城市和人口相对集中的区域,包括3个省会城市,居民消费水平、经济发展水平等各方面在西北地区都较优。

图4显示,1997—2004年,标准差椭圆向西北轻微波动,但移动距离和形状未发生较大变化。2005—2007年,标准差椭圆显著向东南方向移动,2012—2016年,陕西、甘肃、宁夏占比下降,青海和新疆占比增加了2.49%,标准差椭圆呈现出向西北回移的趋势。沿X轴的标准差在2004年后呈减少趋势,2012年前后又逐渐增加,沿Y轴的标准差在2004年后呈现增加趋势,2012年前后又逐步减小,表明2004年后,西北居民生活碳排放沿X轴趋于集中,沿Y轴趋于分散。2012年前后,碳排放沿X轴趋于分散,沿Y轴趋于集中,但分散和集中的幅度均较小。图5显示,1997—2004年,标准差椭圆的中心在青海省刚察县和天峻县北部县域界限附近移动(99.07°E, 38.19°N),2004—2005年,标准差椭圆中心向东南移动了141.2 km,2005—2010年,碳排放中心持续向东南移动到祁连县境内,2010年后,中心向西北回移,移动路径与标准差椭圆一致。

西北居民生活碳排放空间格局出现以上变动可能是由于1997—2004年陕西省的城市化率呈现先降低后增加的趋势,城市人均消费碳排放远高于农村,这使得间接碳排放也呈现大幅下降后又缓慢回升的态势,陕西、甘肃和宁夏居民碳排放占比由62.78%波动下降到60.66%。新疆和青海城市化率和消费碳排放缓慢上升2.11%。2005—2007年的标准差椭圆显著向东南移动,表明东南方向省份在此期间增速和增量发展强劲陕西省全面建设小康社会"三步走"战略第一步目标提前实现,消费市场和热点持续升温;甘肃省狠抓"三农"工作,实现农

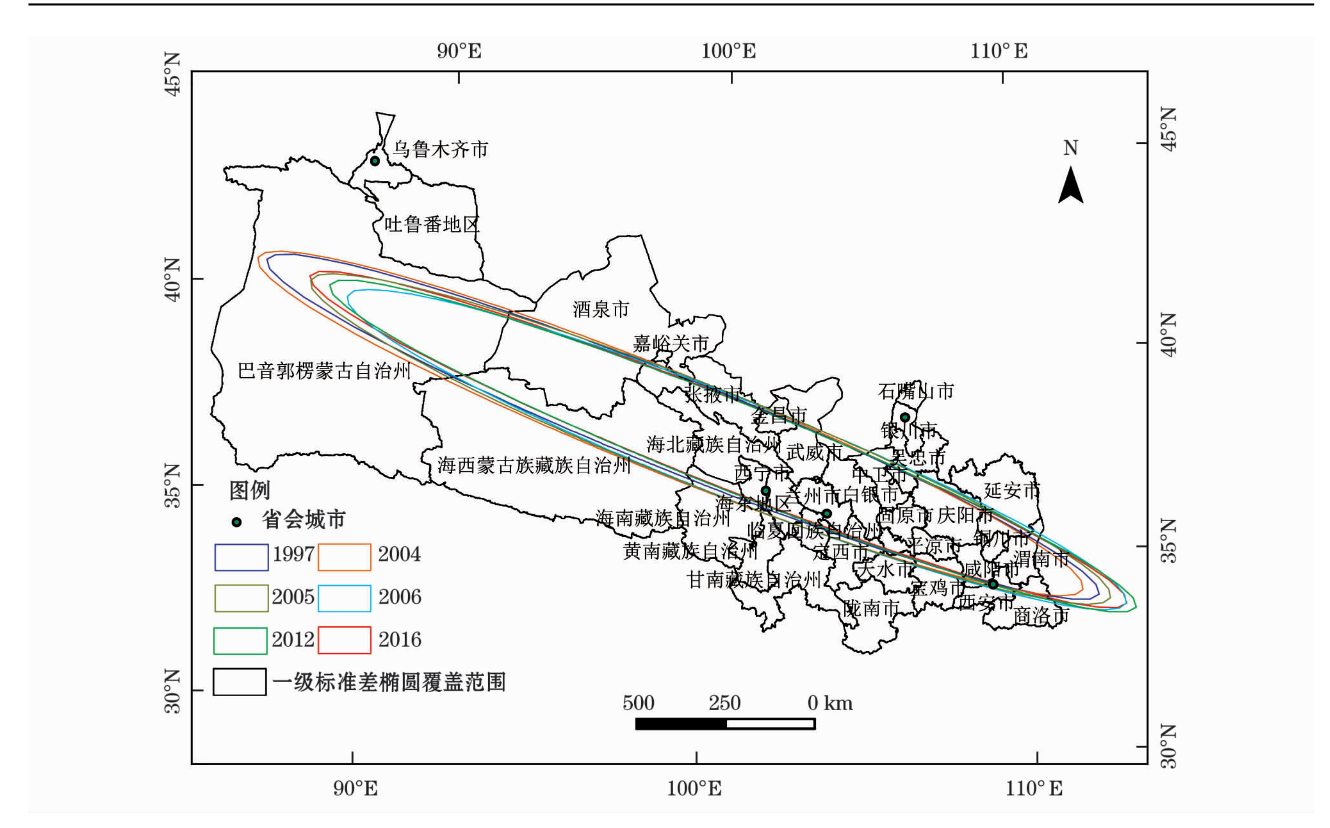


图4　西北地区居民生活碳排放空间分布格局的离散趋势

Fig. 4　Discrete trend of spatial distribution of household carbon emissions in Northwest China

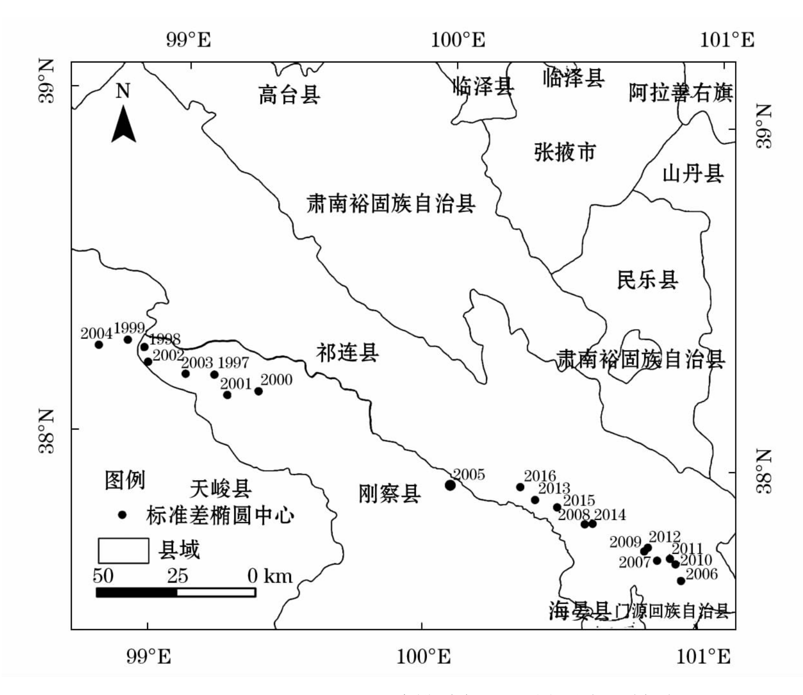


图5　西北地区居民生活碳排放标准差椭圆中心转移

Fig. 5　Standard deviation elliptical center transfer of household carbon emissions in Northwest China

税减免、粮食增产、农民增收,提高非城市人均消费力;2002—2016 年,新疆、青海发展明显大于其他省份,碳排放占比增加。西部大开发总体规划处于加速发展阶段,新疆、青海省份发展速度加快,青海省城镇居民人均可支配收入年均增加超过 10%,新疆地区构建“两个基地、一个中心”及“中南亚经济国中心地位”,两省恩格尔系数高于全国平均水平但逐步呈现下降趋势,碳排放结构有所优化,均推动了

居民碳排放中心和主体区域向西北移动。

3.2 西北居民碳排放空间格局预测分析

本文运用 ARIMA 模型，对标准差椭圆的各参数进行预测，预测结果见表 3。

从表 3 可知，预测模型的 R^2 在 0.68～0.95 之间，具有较好的拟合效果。将上文 2.2 节 2017—2021 年西北居民生活碳排放预测结果通过 GIS 展示后(图 6)，与空间格局的预测结果进行比较空间变化路径相同，证明预测结果可信。

从表3中看出，2017—2021年，中心坐标的经度值不断减少，即向西移动，中心坐标的纬度值不断增加，即向北移动。X 轴距离减少，Y 轴距离略有增加，表明 2017—2021 年，沿 X 轴发散，沿 Y 轴收缩。旋转角未发生较大变化，保持在 112.368°～112.399°。图 6 显示，2017—2021 年，X 轴距离、Y 轴距离和旋转角与 2016 年的标准差椭圆相比，未发生较大变化，标准差椭圆由东南向西北方向回移，中心坐标的移动趋势延续了 2008—2016 年椭圆中心的变化趋势。2017—2021 年，新疆居民碳排放量增量最大，增速最快，青海增速超过陕西、甘肃、宁夏，将西北地区居民生活碳排放的重心整体向西北推进，与表 1 表示相同。

表 3 碳排放标准差椭圆的预测模型

Tab. 3 Prediction model of standard deviation ellipse of carbon emission

预测	中心坐标	X 轴距离 / km	Y 轴距离 / km	旋转角度
ARIMA(p,d,q)	2.1.1	2.1.2	2.1.2	2.1.1
R^2	0.825, 0.81	0.843	0.949	0.68
2017	(100.43,37.93)	1 216.048 7	118.650 9	112.384 8
2018	(100.55,37.94)	1 214.120 8	118.776 2	112.369 5
2019	(100.6,37.96)	1 212.719 1	118.864 3	112.367 5
2020	(100.61,38.00)	1 211.641 8	118.955 7	112.373 8
2021	(100.58,38.04)	1 210.778 6	119.035 9	112.383 1

从 2000 年西部大开发战略起，国家把东部沿海地区的剩余经济发展能力，用以提高西部地区的经济和社会发展水平，“新丝绸之路”经济带建设、西北地区兰州保税区、宁夏内陆开放型经济试验区，喀什和霍尔果斯经济开发区等建设，交通、贸易大通道，丝绸之路旅游目的地建设等，国家政策倾斜促使西北五省经济快速发展，但是，由于省份之间发展不平衡，陕西作为西北五省中 GDP、城镇化率较高的省份，居民消费已逐步转向发展型或享受型，居民综

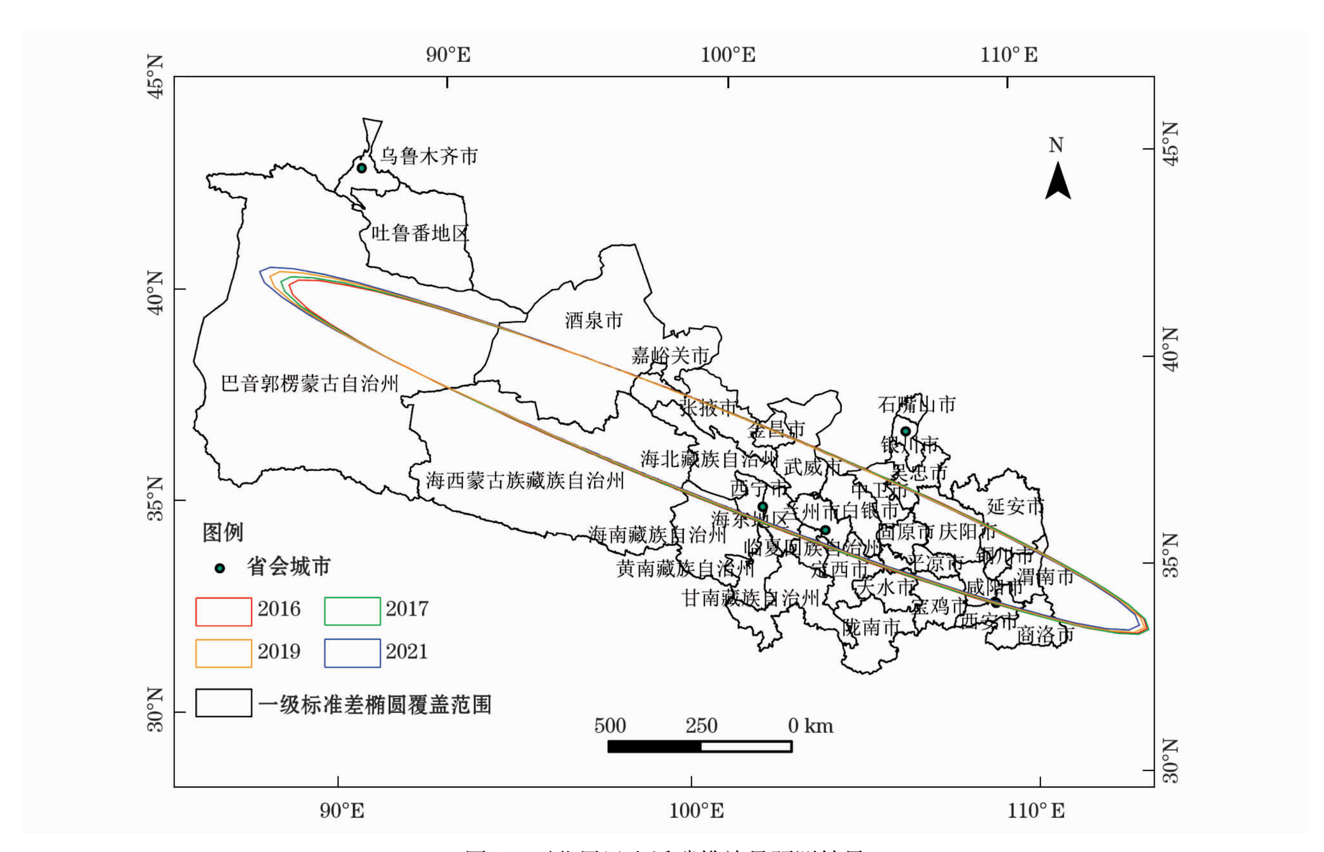


图 6 西北居民生活碳排放量预测结果

Fig. 6 Prediction of household carbon emissions in Northwest China

合生活现状、消费结构逐渐趋于合理,居民生活碳排放在未来呈现增加趋势,但增速将减缓,最终稳定在峰值后开始下降。新疆和青海省的居民可支配收入和消费支出在未来还有很大的提升空间,随着居民对高水平生活质量的追求,间接碳排放必然增加,从而推动西北居民生活碳排放增加。除此之外,我国西部地区是国家脱贫攻坚的主战场之一,习近平总书记提出要消除贫困、改善民生、逐步实现共同富裕,到 2020 年,国家预计实现脱贫,进入小康社会后,西北地区居民生活水平将有一个较大飞跃,当衣食满足,消费结构稳定后,居民在文教娱乐,住房,医疗等方面会有更大追求,推动西北居民生活碳排放增加。

4　结论及政策建议

4.1　结论

本文对 1997—2016 年西北居民生活碳排和空间格局现状进行分析,并利用 ARIMA 模型对 2017—2021 年西北居民生活碳排放量和空间分布进行预测,研究结果如下:

(1) 从碳排放现状来看,1997—2016 年,西北居民生活碳排放呈先缓慢后快速的上升趋势。由于能源消费结构优化,需求趋于饱和,直接碳排放稳定在 0.3×10^8 ~ 0.4×10^8 t;由于人口、人均消费和电热力消费大幅增加,间接碳排放增长到 2.38×10^8 t;各省格局基本稳定,陕西排放量最高、青海增速最慢。

(2) 从空间分布来看,1997—2016 年,西北居民生活碳排放主体呈现西北—东南方向分布,包括 3 个省会城市和人口相对集中的区域。移动趋势为西北—东南方—西北,标准差椭圆中心在(99.07°E,38.19°N)附近移动,移动路径与标准差椭圆大致相同。

(3) 从碳排放预测来看,2017—2021 年,西北居民生活碳排放仍呈上升趋势,直接碳排放为 0.543×10^8 t;间接碳排放为 3.63×10^8 t;陕西省作为人口大省,排放量最高但增速缓慢,新疆排放量居第二,增速较高,与陕西省差距较小。

(4) 从空间预测来看,2017—2021 年,居民生活碳排放沿 X 轴发散,沿 Y 轴收缩,旋转轴变化小,随着西部大开发和脱贫的进一步落实,居民消费方式可能发生转变,促进标准差椭圆及中心持续向西北移动。

4.2　政策建议

(1) 优化家庭能源结构,推广绿色能源。政府加大城乡能源设施建设,增加天然气、煤气覆盖范围,推广集中供暖改造;提高农村地区环保煤、罐装煤气等优质燃料补贴,逐步降低煤炭占比,增加太阳能、风能、燃气等清洁能源使用。

(2) 合理调整消费与生活碳排放的关系,宣传低碳消费观念。由于消费拉动间接碳排放,所以在社会购买力提高的同时,引导居民走低碳消费之路。政府可以利用阶梯电价、公共交通补贴、新能源汽车和节能家电优惠等政策,结合多渠道宣传,减少居民不必要消费带来的碳排放。

(3) 统筹区域发展,采取差异性政策引导。区域碳减排过程中要考虑本地区和邻近地区的实际状况,不能盲目限制或鼓励不同经济水平地区居民的消费和碳排放,应当引导消费,政策补贴、媒介宣传等多措施结合,对不同经济发展水平的区域采取不同的减排规划。

本文通过对西北地区居民碳排放进行分析,并假设现有政策、技术等外因不变的条件下,进行短期预测,佐证了前人居民碳排放的测算结果,填补了区域居民碳排放研究;其次,弥补了目前预测研究多关注数量预测,少关注空间分布变化的不足,使预测更具全面性;最后,为情景分析预测和居民低碳研究提供了上限参考。研究结果有助于省份和国家在地区发展的同时,进行内部调控和区域间调整,有利于改善居民生活和消费方式,合理生活碳排放结构,促进居民碳排放更早达峰。

参考文献(References)

[1]　万文玉,赵雪雁,王伟军.中国城市居民生活能源碳排放的时空格局及影响因素分析[J].环境科学学报,2016,36(9):3445－3455.[WAN Wenyu,ZHAO Xueyan,WANG Weijun. Spatial-temporal patterns and impact factors analysis on carbon emissions from energy consumption of urban residents in China[J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2016,36(9):3445－3455.]

[2]　BIN S,DOWLATABADI H. Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO_2 emissions[J]. Energy Policy,2005,33(2):197－208.

[3]　曾静静,张志强,曲建升,等.家庭碳排放计算方法分析评价

[J]. 地理科学进展,2012,31(10):1341 - 1352. [ZENG Jingjing,ZHANG Zhiqiang,QU Jiansheng,et al. Analysis and evaluation of methods for household carbon emissions calculation[J]. Progress in Geography,2012,31(10):1341 - 1352.]

[4] 刘晶茹,PETERS G P,王如松,等. 综合生命周期分析在可持续消费研究中的应用[J]. 生态学报,2007,(12):5331 - 5336. [LIU Jingru,PETERS G P,WANG Rusong,et al. Hybrid life-cycle analysis and its applications in sustainable consumption researches[J]. Acta Ecologica Sinica,2007,(12):5331 - 5336.]

[5] LIU L N,QU J S,CLARKE-SATHER A,et al. Spatial variations and determinants of per capita household CO_2 emissions (PHCEs) in China[J]. Sustainability,2017,9(7):1277.

[6] 王东,李玥凝. 广东省居民生活消费碳排放与居民收入关系研究[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(S1):218 - 221. [WANG Dong,LI Yuening. Relationship between household CO_2 emissions and residents' income in Guangdong Province[J]. China Population,Resource and Enviornent,2017,27(S1):218 - 221.]

[7] 张馨. 中国能源消费碳排放的时空差异及驱动因素研究[J]. 干旱区地理,2018,41(5):1115 - 1122. [ZHANG Xin. Spatial temporal differences and driving factors of carbon emission from energy consumption in China[J]. Arid Land Geography,2018,41(5):1115 - 1122.]

[8] 张艳平,张丽君,崔盼盼,等. 中国居民碳排放时空特征及影响因素研究[J]. 干旱区地理,2018,41(2):401 - 408. [ZHANG Yanping,ZHANG Lijun,CUI Panpan,et al. Spatial and temporal characteristics of Chinese residents' carbon emissions and its influencing factors[J]. Arid Land Geography,2018,41(2):401 - 408.]

[9] 朱婧,刘学敏,初钊鹏. 低碳城市能源需求与碳排放情景分析[J]. 中国人口·资源与环境,2015,25(7):48 - 55. [ZHU Jing,LIU Xuemin,CHU Zhaopeng. Scenario analysis on energy demand and CO_2 emission of low carbon city[J]. China Population,Resource and Enviorment,2015,25(7):48 - 55.]

[10] BOX G E,JENKINS G M. 时间序列分析预测与控制[M]. 北京:中国统计出版社,2003. [BOX G E,JENKINS G M. Time series analysis,prediction and control[M]. Beijing:China Statistical Press,2003.]

[11] PRANANDA J,HANTORO R,NUGROHO G. The prediction of carbon dioxide emission using ARIMA for support green energy development in Surabaya municipality[M]. Knowledge Publishing Services,2015,2(2):106.

[12] 李建豹,黄贤金,吴常艳,等. 中国省域碳排放的空间格局预测分析[J]. 生态经济,2017,33(3):46 - 52. [LI Jianbao,HUANG Xianjin,WU Changyan,et al. Spatial pattern forecast of China's provincial carbom emissions[J]. Ecological Economy,2017,33(3):46 - 52.]

[13] 李建豹,曲建升,张志强. 西北地区家庭生活碳排放特征及其影响因素研究[J]. 干旱区地理,2014,37(4):759 - 766. [LI Jianbao,QU Jiansheng,ZHANG Zhiqiang. Characteristics and influencing factors of household carbon emissions in Northwest China[J]. Arid Land Geography,2014,37(4):759 - 766.]

[14] 叶震. 中国居民消费对二氧化碳排放的影响——基于碳排放投入产出模型的分析[J]. 统计与信息论坛,2011,26(11):39 - 43. [YE Zhen. Analysis on the impact of China's consumption on carbon dioxide emissions:Based on input-output model[J]. Statistics & Information Forum,2011,26(11):39 - 43.]

[15] 刘晓婷,陈闻君. 基于 ESDA-GIS 的新疆能源碳排放空间差异动态演化分析[J]. 干旱区地理,2016,39(3):678 - 685. [LIU Xiaoting,CHEN Wenjun. Dynamic evolution of spatial disparity of energy carbon emissions in Xinjiang based on ESDA-GIS[J]. Arid Land Geography,2016,39(3):678 - 685.]

[16] 贺三维,王伟武,曾晨,等. 中国区域发展时空格局变化分析及其预测[J]. 地理科学,2016,36(11):1622 - 1628. [HE Sanwei,WANG Weiwu,ZENG Chen et al. Spatio-temporal pattern of economic development and the forecast in China[J]. Scientia Geographica Sinica,2016,36(11):1622 - 1628.]

Analysis and prediction of household carbon emission in northwest China

XU Li[1], QU Jian-sheng[1,2], LI Heng-ji[1,2], WU Jin-jia[1], ZHANG Hong-fen[1]

(1 *College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*; 2 *Scientific Information Center for Resources and Environment/Global Change Research Information Center, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*)

Abstract: The economic development, living standard of residents and carbon emissions in Northwest China are lower than the national average. However, with the favorable policies the economic development is being improved and the household living standard is gradually raised up which will lead to an increase of the residents living carbon emissions, and the emission pattern will also be affected. This is detrimental to the fragile ecological environment of the Northwest China. At present, most of the researches on residents' carbon emissions are focused on the eastern and southern regions of China where there are frequent and significant human activities and high carbon emissions, and less attention has been paid to the northwest region, but the increase of carbon emissions and the increase of environmental costs have a more far-reaching impact on the less developed areas. In addition, when researchers pay attention to the prediction of residents' carbon emissions, they usually focus on the quantitative prediction and ignore the spatial pattern prediction, which is not conducive to the coordinated development between regions. Based on the data of energy consumption and consumption expenditure in the five provinces of Northwest China, including Shaanxi, Gansu, Qinghai, Ningxia and Xinjiang from 1997 to 2016, this paper firstly used the direct coefficient method to measure the residents' direct carbon emissions, and the input-output method to calculate the indirect carbon emissions of the residents and analyzes the present situation of residents' carbon emissions in the northwest region. Secondly, based on standard deviation ellipse and Autoregressive Integrated Moving Average Model, the carbon emissions of residents in Northwest China were predicted in terms of quantity and spatial pattern from 2017 to 2021. Major results are listed as follows: From 1997 to 2016, household carbon emissions in Northwest China showed a rising trend with an initial slow pace followed by a quick pace. The direct carbon emissions were stabilized in the range from 0.3×10^8 t to 0.4×10^8 t, and the indirect carbon emissions reached 2.38×10^8 t. The spatial distribution of household carbon emissions in Northwest China was generally steady with a direction pattern from northwest to southeast. And the moving trend of standard deviation ellipse was from northwest to southeast to northwest, and the center of standard deviation ellipse moved around the point of (99.07°E, 38.19°N). From 2017 to 2021, the direct household carbon emissions in Northwest China reach to 0.543×10^8 t and the indirect carbon emissions are 3.631×10^8 t by 2021. With the development of the western region in China and the promotion of poverty alleviation, Xinjiang Province had a lower emission than Shaanxi, but it had the higher growth rate than Shaanxi. These factors are all driving the main areas of carbon emission northwestward. The purpose of this paper is to recommend how to coordinate between the population and consumption and the environment, leading citizens to establish the value of low-carbon consumption.

Key words: northwest China; household carbon emission; spatial distribution; standard deviation ellipse; AKIMA model